

■ 論 文 ■

급행철도 도입에 따른 전환수요 분석
 Analysis of Diversion Demands for the Rapid Railway

정 병 두 (계명대학교 교통공학과 교수) **김 현** (한국교통연구원 책임연구원) **황 영 기** (계명대학교 교통공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - II. 사례연구
 - 1. 철도서비스 개선 사례
 - 2. SP설계
 - 3. TP설계
 - 4. 조사개요
 - III. 철도서비스 개선에 따른 수단선택모형
 - 1. 다항선택모형
 - 2. RP+SP동시추정모형
 - 3. 수단선택모형 추정 결과
 - IV. TP자료를 이용한 전환수요모형
 - 1. TP조사 개요
 - 2. TP자료를 이용한 수단선택모형
 - 3. 모형추정 결과
 - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 선호의식, 전환가격, 수단선택모형, 전환수요, 급행철도
 Stated Preference, Transfer Price, Mode Choice Model, Diversion Demand, Rapid Railway

요 약

철도서비스 개선을 위한 기존선의 복선, 전철화, 상호직결운행 등 철도네트워크의 기능강화사업이 활발히 추진되고 있다. 본 논문에서는 철도네트워크 기능강화와 같이 새로운 철도서비스가 제공될 경우 타 교통수단으로부터 어느정도의 전환수요가 발생되며, 철도이용패턴은 어떻게 변화될 것인지에 대해 대구권 철도서비스 개선의 사례연구를 대상으로 SP와 TP자료에 의한 전환수요분석모형을 검토하였다. 모형분석 결과, 총통행시간과 통행비용의 파라미터 추정치가 충분한 설명력을 나타내고 있으며, 특히 SP의 보완적 조사로서 TP데이터를 이용할 경우, 철도요금과 통행시간 설정에 따라 전환수요경계치를 쉽게 파악할 수 있어서 대구권 광역철도를 비롯하여 타 지역에서도 보다 실용적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

A diversity of railway network function enhancement projects such as the double tracking, electrification, and direct operation have been actively executed to improve the railway service. When the new rapid railway is provided, how many people will use it instead of other transports? How will the railway choice behavior be changed? Accordingly, in this paper, the applicability of diverted travel demand forecast method by Stated Preference(SP) and Transfer Price(TP) data was reviewed for Daegu metropolitan railway service. As the result of implementing the Revealed Preference(RP) and RP+SP model, the total travel time and travel cost parameters are of the right sign and are highly significant. In particular, when TP data is used as the complementary investigation of SP, the boundary value of diverted travel demand can be easily identified by railway fare and travel time service level. Therefore, it is considered that this will practically apply even in other regions as well as Daegu metropolitan railway.

I. 서론

초고유가시대에 즈음한 신 국가비전인 ‘저탄소 녹색성장’을 위한 교통 패러다임의 변화는 철도의 역할을 강화시키는 계기가 되었다. 이에 따라, 철도의 경쟁력 강화에 대한 필요성이 증가하였으며 철도의 경쟁력 강화 방안은 크게 철도망의 확충 및 기능 강화로 나눌 수 있다. 철도의 경쟁력 강화를 위해 최근 철도인프라의 효율적 활용과 함께 철도를 개선하고자하는 기존선의 복선 및 전철화, 선로용량 개량화 등의 사업이 증가하고 있다. 그러나 철도망의 기능강화 사업에 대해서는 철도투자평가편람과 예비타당성조사표준지침에 수요예측방법론이 구체적으로 정립되어 있지 않다.

본 연구에서는 기존철도 서비스 이외에 광역철도 서비스가 추가될 경우, 타 교통수단으로부터 철도로의 전환여부와 열차이용패턴이 어떻게 변화될 것인지에 관한 평가를 목적으로 선호의식(SP ; Stated Preference)과 전환가격(TP ; Transfer Price)자료 이용에 대한 모형 적용성을 검토하고자 한다.

이전부터 마케팅 분야에서는 새로운 상품이나 서비스에 대해서는 RP(Reveled Preference) 자료로 직접 분석하기 어렵기 때문에 SP자료가 유효한 정보로 취급되어 왔다. 또한 교통행동분석 분야에서도 현존하지 않는 새로운 교통서비스에 대해 직접적인 선호정보를 얻을 수 있는 SP 조사 및 분석방법론이 1980년대 후반부터 영국을 중심으로 본격적으로 적용되기 시작하였다(McFadden, 1986).

1990년대 SP자료의 한계(scale factor 등)가 인식되기 시작하면서 RP와 SP데이터를 함께 이용하는 통합모형이 개발되었고, SP자료의 Repeated Measurement 문제점을 개선하고자하는 새로운 분석방법론이 연구되고있다. 또한 PTRC(2000)에서는 SP자료의 조사방법 및 분석모형 등이 많이 소개된 바 있는데, 신 교통시스템에 대한 수요예측, 대중교통 서비스 변화, 혼잡통행료 부과에 따른 교통행동변화 등 전환수요 예측의 적용사례가 가장 많이 수록되어 있다. SP조사는 이 외 교통수단의 시간가치(VOT: value of time) 산정, 운전자의 경로선택분석, 대기오염감소와 사회적 비용에 대한 선호순위 분석 등에 사용되어 왔다.

국내에서는 새롭게 도입될 교통수단을 대상으로 SP 조사 및 RP자료와 SP자료의 다양한 결합방법의 적용연구가 늘어나고 있지만, 적용되는 기법에 한계가 있고 SP

조사설계에 대한 구체적인 방법론에 대한 논의가 부족한 상황이다(김강수, 2006). 또한, 실제 교통수요 전환율에 대한 국내연구 발표는 인천지하철의 교통수요 전환율 산정연구(이상용 외 다수, 2000), 의정부 경전철의 전환수요 비교연구(정병두, 2002), 경부고속철도 2단계 개통후 전환수요 예측연구(윤대식 외 다수, 2005) 등이 있으나 이제까지 TP자료의 활용에 대해서는 활발하게 논의가 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 전환수요 분석에 있어 보다 실용적인 활용을 목적으로 TP자료를 이용한 수단선택 모형을 구축 평가하여 1)SP조사에서 설정된 철도서비스 요인이나 그 수준치에 대한 유효성을 밝히고, 2)RP, RP+SP모형의 추정결과와 비교함으로써 새로운 철도 서비스 도입에 대한 요금과 소요시간 등 철도정책에의 시사점을 도출한다.

II. 사례연구

1. 철도서비스 개선 사례

본 연구의 대상지는 대구권 지역으로, 경부고속철도 2단계 개통(2014년)이후, 기존 경부선의 여유 선로용량을 활용하여 대구권 철도 서비스를 향상시키기 위해 「김천~밀양」 구간을 대상으로 지역간 철도 이외 광역철도 운행방안과 일반철도 증편방안이 검토되고 있다 (<그림 1> 참조). 또한, 철도서비스 개선을 위해 기존의 모든 역을 정차하는 일반열차의 운행에서 <그림 2>와 같이 일반열차와 급행열차를 모두 도입하는 방안이 제시되어 있다. 간선형 전기동차 TEC(Trunk line Electric Car, 150km/h)를 도입하여 전체적인 표정속도를 향상



<그림 1> 대구권 철도 서비스 개선 사례



자료: 한국교통연구원(2008a)

<그림 2> 대구권 철도 서비스 개선방안

시키고, 선로용량을 고려하여 철도 서비스를 개선하고자 하였다.

2. SP설계

SP조사는 대구권 철도 서비스 개선방안에 근거하여 수단별 요금, 승차시간, 도보 및 대기시간 등 3개 속성, 각 속성에 대한 수준을 2수준으로 설정하고, 문헌 및 현장조사에 근거하여 수준값을 설정하였다.

여기서 서비스 수준 설정을 위하여 이용된 승용차의 평균통행속도 및 유류비 등은 기 조사된 대구광역시 지역 기종점 통행량 전수화(한국교통연구원, 2008b)자료를 적용하였고, 각 구간별 시외버스 및 고속버스의 운행 현황은 전국고속(시외)버스 운송사업조합의 자료, 새마을호 무궁화호 및 KTX의 예상소요시간 및 운임자료는

<표 1> 사례연구의 철도 서비스 수준 설정

구분		장거리통행		단거리통행	
		수준1	수준2	수준1	수준2
승용차	비용(원)	12,400	13,400	8,300	9,300
	총시간(분)	43	55	33	45
	도보·대기	3	5	3	5
	승차시간	40	50	30	40
버스	비용(원)	3,100	3,600	1,900	2,400
	총시간(분)	65	80	45	60
	도보·대기	15	20	15	20
	승차시간	50	60	30	40
철도	비용(원)	3,500	4,700	2,500	3,000
	총시간(분)	55	80	40	55
	도보·대기	20	30	20	30
	승차시간	35	50	20	25

주) 장거리통행은 동대구-구미(49.6km)구간 이상을, 단거리는 김천-구미(22.9km) 구간 이내를 기준으로 하고 있음

<표 2> 일부요인배치계획

代 案	因子交互作用						
	(Two-Way)		(Three-Way)				
	1	2	3	1*2	1*3	2*3	1*2*3
(安全要因配置計劃)							
Options:							
1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
4	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
5	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
6	-1	+1	+1	-1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
8	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
(一部要因配置計劃)							
2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
5	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
8	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1

한국철도공사의 구간별 철도운행현황을 활용하였다.

가상적인 시나리오 작성에는 속성 간의 직교성이 보증되고 RP자료에서 문제시되고 있는 다중공선성을 피할 수 있도록 실험계획법을 이용하였다. 구체적으로는 상기 3속성 각 2수준을 조합한 대체안은 최대 2³=8개로, 완전요인배치계획(Full factorial design)이 적용된다. 하지만 이것은 실제 노측면접조사시 피설문자에 대한 충분한 시간을 확보할 수 없으므로 대체안수 삭감을 위해 가장 일반적으로 사용되고 있는 일부요인배치계획법을 이용하여 8개에서 4개안으로 축소하여 피설문자의 회답오차를 최소화하였다.

3. TP 설계

SP조사는 철도서비스요인이나 그 수준의 선정에 있어 어느 정도 현실적인 수준치가 설정되었다는 전제조건을 기반으로 하고있다. 그러나 의사결정 시, 한 번에 비교 판단할 수 있는 정보량에 한계가 있고, 피설문자별로 고유수준을 파악하는 데 일부수준치와 범위가 한계를 벗어날 수 있다(Green and Srinivasan). 따라서 이점을 보완하고자 TP조사를 실시하였다.

TP조사는 승용차, 철도, 버스 이용자에게 「요금과 시간이 어떤 조건일 때 새로운 철도로 전환할 것인지?」, 즉, 요금과 소요시간의 교차특성을 고려한 광역철도로의 전환의향에 관한 조사이다(<표 3> 참조).

이 TP자료는 타 수단으로부터 광역철도를 이용하기 위한 요금과 소요시간에 대한 요구수준이며, SP조사 자

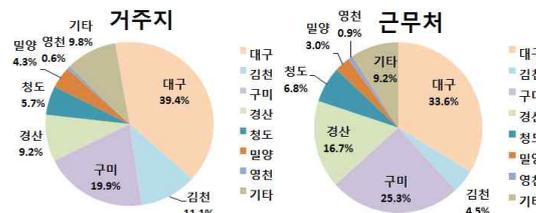
<표 3> 요금에 대한 TP조사양식 예(승용차 이용자)

1-1. 출발지에서 목적지까지 다음 조건하에 철도 요금이 얼마일 때까지 철도수단을 이용하시겠습니까?		광역철도 요금
<ul style="list-style-type: none"> 자동차 이용 <p>총소요시간 40분, 유류비+통행료 9,000원</p>	<input type="checkbox"/> 1. 2,000원까지 <input type="checkbox"/> 2. 3,000원까지 <input type="checkbox"/> 3. 4,000원까지 <input type="checkbox"/> 4. 5,000원까지 <input type="checkbox"/> 5. 기타 _____원까지 <input type="checkbox"/> 6. 어떤 경우에도 이용하지 않음	
<ul style="list-style-type: none"> 도보+광역철도이용 <p>총소요시간 50분, 광역철도요금 ? 원</p>		

료와 비교하여 SP조사의 수준값 한계를 개선할 수 있다. <표 3>은 TP조사표의 양식 예를 나타내고 있으며 광역철도 소요시간과 요금에 대한 경계치는 요금의 경우 2,000원~5,000원으로 1,000원씩 증가시켰고, 소요시간은 40분~60분으로 5분~10분씩 증가하였다.

4. 조사 개요

대구권 광역철도 도입에 대한 수단선택 선호의식과 전환의식 조사는 철도 운영서비스 개선에 따른 전환수요 분석에 대한 TP자료의 적용성 검토를 목적으로 하고 있다. 경부선(김천~동대구~밀양, 125.1km)과 대구선(동대구~영천, 36.1km) 연선 중심을 공간적 범위로 설정하였다. 조사대상자는 경부선 축을 통행자를 대상으로 철도역과 시외·고속버스 터미널 에서 면접조사하였으며, 대구~서울, 대구~부산, 구미~대전 등 광역통행이 아닌 통행자는 제외하였다. 조사시기는 2008년 10월이며, 지역별 조사부수는 <표 4>와 같다. 전체 설문지 배포부수 820매 중



<그림 3> 거주지 및 근무지 분포

유효표본은 777매(94.8%)로 나타났다.

자료 프로파일 특성에 대해 성별, 연령, 근무지와 거주지 등에 고찰한 결과는 <그림 3>과 같다. 성별은 여성이 60%, 남성이 40%이고, 연령분포는 20대(60%), 30대(15%), 40대(14%), 50대(8%) 순이다. 거주지는 대구(39.4%), 구미(20%), 김천(11%), 경산(9%) 순이며, 근무지는 대구(33.6%), 구미(25%), 경산(16.3), 청도(7%), 김천(4.5%) 순으로 나타났다. 이 자료는 대구권의 광역 통행자 중심의 자료 특성을 나타내고 있는 것임을 알 수 있다.

<표 4> 조사 대상지역 및 조사매수

구분	조사 대상 지역		조사부수	
	인구	구성비	배포부수	회수 유효부수
대구	2,493,261	70.75%	350	305
김천	139,084	3.95%	90	86
구미	391,897	11.12%	170	154
영천	105,819	3.00%	20	5
경산	236,881	6.72%	90	71
청도	45,515	1.29%	50	44
밀양	111,473	3.16%	50	33
기타	-	-	-	79
합계	3,523,930	100.0%	820	777

III. 철도서비스 개선에 따른 수단선택모형

본 장에서는 새로운 철도 서비스가 도입될 경우 수단선택패턴의 변화에 대한 평가를 목적으로 수단선택모형을 구축하였다. 수단선택패턴 변화의 평가에서는 현황 재현은 RP모형을, 새로운 철도서비스 도입에 따른 재현은 SP모형을 적용하며, RP+SP모형은 SP자료의 복수 응답문제의 한계와 가상적인 상황에 따른 bias 문제를 극복하기 위해 구축하였다. 또한 새로운 서비스 철도와 기존철도에 관한 수단선택패턴분석은 이항선택모형을 적용하였다.

1. 다항선택모형

RP와 SP자료를 이용한 수단선택행동분석 모형은 승용차, 철도, 버스의 3개 수단을 대상으로 다항로짓(ML: Multinomial Logit)모형으로 정식화하여 분석하고, 열차이용행동 특성분석은 급행열차와 완행열차로 구분하여 이항선택 로짓모형(BL: Binary Logit Model)을 구축하여 평가한다).

ML모형에서 개인n에 대한 선택지의 집합이 A_n 이라고 할 때 선택확률은 식(1)과 같으며, 여기서 $\Theta = [\Theta_1, \dots, \Theta_k]$ 는 미지의 파라미터벡터, $X_{in} = [X_{ink}, \dots, X_{ink}]$ 는 개인n의 선택지 i의 특성벡터를 나타내고 있다.

$$P_{in} = \frac{e^{\lambda V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{\lambda V_{jn}}} = \frac{1}{\sum_{j \in A_n} e^{\lambda(V_{jn} - V_{in})}} \quad (i \in A_n) \quad (1)$$

$$V_{in} = \theta' X_{in} = \sum_{k=1}^k \theta_k X_{ink}, (i \in A_n)$$

여기서,

- A_n : 개인n의 선택지 집합
- P_{in} : 개인n가 선택지 i(i=1, 2..., In)을 선택할 확률
- V_{in} : 개인n가 선택지 i에서 받을 효용 확정항
- λ : 효용확정항의 분산을 나타내는 파라미터

효용함수(Utility Function)는 수단별 통행시간과 통행비용을 설명변수로 하여 식(2)와 같이 표현된다.

$$U_{ijk} = \beta_0 \cdot K_DUM + \beta_1 \cdot COST_{ijk} + \beta_2 \cdot TVTT_{ijk} \quad (2)$$

여기서,

- $TVTT_{ijk}$: 존i,j 간 k 수단의 총 통행시간
- $COST_{ijk}$: 존i,j 간 k 수단의 총 통행비용
- K_DUM : 교통수단 k의 수단특성계수 (Alternative Specific Constants)
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2$: 각 변수에 대한 파라미터

2. RP+SP 동시추정모형

RP+SP결합모형은 RP자료와 SP자료의 오차를 나타

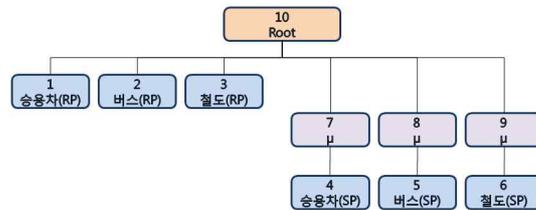
내는 규모인자(Scale Factor) μ 의 정산방법에 따라 순차적 방법(Sequential Estimate Method)과 동시추정방법(Simultaneous estimate method)으로 나뉜다. Morikawa(1989)에 의하면 동시추정 방법에서 미지의 파라미터 $\theta, \alpha, \gamma, \mu$ 를 동시에 추정하기 위한 목적함수인 로그우도함수는 식(3)과 같다.

$$L(\theta, \alpha, \gamma, \mu) = \sum_{n=1}^{N^{RP}} d_n^{RP} \log[F(\theta X_n^{RP} + \alpha Y_n^{RP})] + \sum_{n=1}^{N^{SP}} d_n^{SP} \log[F(\mu(\theta X_n^{SP} + \gamma Y_n^{SP}))] \quad (3)$$

여기서, d_n^{RP} 는 개인 n의 RP자료 선택을 나타내는 지표로서 만약 $U_n^{RP} \geq 0$ 이면 1이고, 그렇지 않으면 0이다. 또한 N^{RP} 와 N^{SP} 는 RP와 SP자료의 수이고, F는 확률함의 누적 밀도함수이다.

식(3)과 같이 동시추정방법에서는 μ 를 도입하기 때문에 일반적인 로짓모형 추정 프로그램을 이용하여 로그우도함수를 최대화하는 정산이 불가능하다. 따라서 Morikawa(1989)는 비선형 최적화 모듈이 내재된 GAUSS 프로그램을 이용하여 이 로그우도 함수를 최대화시키는 규모인자와 효용함수 파라미터를 동시에 추정한바 있다. Bradley & Daly(1994)는 Morikawa(1989)의 동시추정방법을 일반적인 로짓모형 프로그램에 사용하여 수행할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 이러한 Nested Logit Model을 이용하여 동일하게 RP, SP모델의 각 변수를 구분하고 실제 변수의 2배가 되는 변수를 갖는 인위적 트리구조를 구성한 후 규모인자 scale factor μ 와 각 설명변수별 파라미터들을 동시에 추정하였다.

본 연구에서 설정한 동시추정 artificial tree 구조는 <그림 4>로 표현되고, 모형추정은 Hielow을 이용하였다.



<그림 4> RP+SP모형의 동시추정 트리구조(Artificial Tree)

1) 본 논문에서는 광역철도와 같은 새로운 서비스의 철도가 제공될 경우 수단선택패턴 변화를 파악하는 데 목적이 있다. 여기서 BL모형 추정은 급행열차의 선호경향을 규명하는 데 있다.

3. 수단선택모형 추정결과

1) 다항선택모형

<표 5>는 RP데이터와 SP데이터를 이용한 수단선택모형 추정결과를 나타낸다. 여기서 총 통행시간(TVTT)과 통행비용(COST)의 파라미터 추정치가 모두 음의 부호로서 논리적인 결과를 보여주고 있다. 다항선택 SP모형은 통행비용과 총통행시간의 파라미터에 대한 t통계량이 5% 유의수준에서 통계적 신뢰성을 확보하고 있다. 또한 다항선택모형의 적합도 평가 지표인 우도비(ρ^2)는 각각 0.31, 0.11, 0.15로 비교적 양호한 수준에 있다. 한편 수단더미 파라미터의 경우 철도 더미가 Zero로 특정화된 기준으로 볼때, 승용차 더미 값이 더 크고, 버스더미 값이 작은 경향을 보이고 있다. 또한 RP모형보다 SP모형에서 승용차와 철도, 버스와 철도의 더미 값 차이가 각각 0.965에서 0.071, -1.245에서 -0.703를 보이고 있다. 이 결과는 광역철도와 같이 운행빈도의 개선과 저렴한 요금 정책이 철도에 대한 선호지각 의식을 향상시키는 데 긍정적인 역할을 할 수 있다고 해석된다. 단, 교통수단의 선호도는 수단더미변수 값으로 평가하는 데 한계가 있는데, 이는 통행거리에 따라 교통요금과 소요시간이 변화하기 때문이다. 따라서 교통수단의 선호도는 각 수단간 효용함수식을 이용한 선택확률로 해석해야 한다.

각 모형의 수단분담율 추정결과를 설문조사 자료와

<표 5> 다항선택모형 추정결과

구분	RP 모형	SP모형	RP+SP 모형
총통행시간 (분)	-0.00703 (-0.71)	-0.03335 (-3.73)	-0.02853 (-3.98)
통행비용 (원)	-0.000338 (-9.43)	-0.0001975 (-3.18)	-0.000298 (-0.10)
승용차 더미	0.9651 (3.53)	0.0714 (0.16)	0.5192 (2.26)
버스 더미	-1.245 (-7.397)	-0.7039 (-0.12)	-1.083 (-9.554)
L(0)	-706.408	-2402.67	-3109.07
L($\hat{\theta}$)	-538.429	-2150.13	-2646.45
ρ^2	0.307	0.108	0.152
μ	-	-	0.6924 (-5.142)
표본수	643	2,187	2,830

주) SP모형은 장거리+단거리통행의 SP자료를 모두 합쳐 구축한 것임

비교하면 철도분담 비율이 상대적으로 높고, 승용차는 낮게 나타나고 있다. 이것은 버스 터미널과 철도역에서의 RP조사 데이터가 많기 때문이다. 더욱이 RP+SP모형에서는 SP모형에 비해 철도 분담율이 많이 증가하는 결과가 나타났다. 이러한 문제를 보완하기 위해서 승용차이용자에 대한 RP조사자료를 비례적으로 추가하면 RP+SP결합모형의 타당성(Validity)은 더욱 높일 수 있을 것으로 판단된다.

대체적으로 3개 모형의 수단분담율 예측결과 적합도는 충분함을 보여주고 있으며, 실제 광역철도와 같이 15분 배차간격의 정시성이 확보된 철도교통이 버스보다 경쟁력이 높고, 장거리 통행자일수록 철도이용확률이 높다는 것을 보여주고 있다.

2) 이항선택모형

여기서는 새로운 철도 서비스 도입에 따른 기존철도와 광역철도에 대한 선호도를 분석하고자 한다. 기존철도는 주요 역만 정차하고, 30분 간격으로 서비스되는 급행철도에 해당되며, 광역철도는 모든 역에 정차하고 15분 간격으로 서비스되는 완행철도에 해당된다. 구체적으로 장래에 새롭게 도입예정인 광역철도는 차량 최고속도 150km/h의 간선형 전기동차(TEC)로 운행될 계획이다. 또한, <그림 2>의 대구권 철도서비스 운행패턴 대안에 따라 광역철도 열차운행에 다소 차이가 발생할 수 있지만, 요금은 2,000원 수준, 배차간격은 침두시 15분, 비침두시 20분으로 책정하였다. 이에 반해, 기존철도의 경우, 요금이 4,500원으로 광역철도 보다 비싸고, 배차간격이 50~60분, 승차시간이 30~35분으로 운행되고 있다. 따라서 기존철도와 광역철도는 요금과 배차간격, 차내시간 등에 대해 서비스 차별성이 명확히 존재하고 있다. 이상의 철도서비스 차이에 따른 기존철도(급행열차)와 광역철도(완행열차)에 대한 선호의식은 이항선택모ذج(BL: Binary Logit)으로 평가한다. 또한 BL모형구축을 전제로 SP설문에서는 철도선택(완행열차+급행열차)에 대한 1:1비교의 선호도는 Rating으로 평가하였다.

BL모형구축은 SP자료 전체를 이용한 경우와 SP자료 중 조건2²⁾가 제외된 자료를 이용한 경우로 구분하여 2개

2) 조건1 : 급행열차 (요금 3,500원, 승차시간 30분, 배차간격 50분) vs. 일반철도(요금 2,000원, 승차시간 50분, 배차간격 : 20분),
 조건2 : 급행열차 (요금 3,500원, 승차시간 35분, 배차간격 60분) vs. 일반철도(요금 2,000원, 승차시간 60분, 배차간격 : 30분),
 조건3 : 급행열차 (요금 4,500원, 승차시간 30분, 배차간격 60분) vs. 일반철도(요금 2,500원, 승차시간 50분, 배차간격 : 30분),
 조건4 : 급행열차 (요금 4,500원, 승차시간 35분, 배차간격 50분) vs. 일반철도(요금 2,500원, 승차시간 60분, 배차간격 : 20분)

모형을 구축하였다. BL모형2의 경우 조건2의 수준 값에 대한 철도이용자 설문비용이 다른 조건과 다르게 급행열차가 35%로 높기 때문에 이를 제외한 모형을 구축하였고, 그 결과 모형 적합도가 BL모형1 보다 BL모형2가 우수하였다. 또한 BL모형2는 모든 변수의 t통계량이 유의수준 0.05이내에서 유의하게 나타났다. 철도의 시간가치는 3,300원/시간으로 한국교통연구원(2008b)에서 제시한 대구광역권 철도시간가치 3,988원과 유사하게 나타났다. 이상의 결과에 근거하면 BL모형2로 일반열차와 급행열차에 대한 선호도를 평가하는 데 큰 문제점이 없다는 것을 알 수 있다. 급행열차의 선호특성을 보면, 급행열차 더미가 0.35(BL모형2)로 일반열차 보다 크다. 이 결과는 일반적으로 철도이용자가 일반열차보다는 속도성이 있는 급행열차에 대한 선호의식이 형성되어 있다는 것을 시사한다. 그러나 열차선택패턴은 통행거리에 따라 총통행시간과 요금을 고려하여 결정되고 있다.

완행열차와 급행열차 선호도 결과는 설문조사와 BL모형에 근거하여 <표 7>에 제시하였다. 이 결과, 수단분담율은 완행열차 67%, 급행열차 33%로 나타났다. 이것은 승차시간이 일반열차보다 20분 빠른 급행열차보다는 짧은 배차간격과 저렴한 요금의 철도 서비스를 선호하고 있다는 점을 시사하고 있다. 그러므로 새로운 서비스 철도 도입에 따른 열차운영은 배차간격, 차내시간, 대기시간 등의 시간과 비용에 주의가 필요하다. 이항선택

<표 6> 이항선택모형 추정결과

구분	BL모형1	BL모형2
총통행시간(분)	-0.04508 (-2.752)	-0.05295 (-2.160)
통행비용(원)	-0.0008796 (-5.342)	-0.0009531 (-4.021)
급행열차 더미	-0.3222 (-0.6917)	0.3531 (-0.7517)
L(0)	-1983.09	-1485.41
L($\hat{\theta}$)	-1754.99	-1271.6
ρ^2	0.124187	0.149453
샘플수	2,861	2,143

주) BL모형1은 SP자료 전체, BL모형2는 SP자료 중 조건2의 자료를 제외한 조건1, 조건3, 조건4

<표 7> 모델별로 재현한 수단분담률 비교

구분	설문조사	BL모형1	BL모형2
급행열차(기준)	30.3%	32.5%	28.9%
일반철도(광역)	69.7%	67.5%	72.1%

에 대한 SP설문조사에서는 ‘완행열차와 급행열차 어느 쪽도 아니다’라고 응답한 자료를 고려할 경우 급행열차는 최대 45.8% 수준까지 예상되고, 급행열차가 정착하는 김천, 구미, 대구, 동대구, 밀양 등의 주요 역에서 수요층이 형성되는 것으로 나타났다.

IV. TP자료를 이용한 전환수요모형

본 장에서는 승용차와 버스 이용자를 대상으로 새롭게 서비스되는 철도로의 전환의식 분석을 목적으로 TP자료를 이용한 전환수요모형을 구축하고, 이 결과에 근거하여 전환수요 특성과 TP자료 적용성에 대해 검토한다.

1. TP조사 개요

TP조사에 근거한 광역철도(완행열차) 전환의향 집계 결과는 <표 8>에 제시되어 있다. 승용차와 버스 이용자가 요금과 소요시간 수준에 따라 광역철도로의 전환되는 누적비용을 보면, 승용차 이용자는 요금이 3,000원 일 때 47.7%, 버스이용자는 2,000원 수준에서 36.2%, 3,000원일 때 37.5%로 약 74%가 광역철도로 전환할 의사가 있는 것으로 분석되었다. 광역철도의 소요시간이 50분까지는 승용차 이용자 51.9%, 버스이용자 56.3%가 광역철도로 전환할 의사가 있는 것으로 나타났다.

분석 결과, 새로운 철도서비스에 대해 요금수준에 민감한 행동변화를 보이는 것은 버스 이용자이며, 소요시간 단축에 민감한 행동변화는 승용차 이용자에게서 나타났다. 특히 광역철도 전환의향은 시간보다는 요금에 민감하다는 것을 알 수 있었다.

2. TP자료를 이용한 수단선택 모형

여기서는 SP자료를 이용한 수단선택모형과 TP자료를 토대로 실제 광역철도의 요금과 시간변화에 따른 전환수요의 일치성여부를 비교하기 위하여, TP모형에 의한 전환율을 추정하였다. TP모형은 광역철도 요금과 통행시간의 설명변수를 TP의 서비스 범위³⁾와 동일하게 변화시켜 승용차와 버스 이용자별로 BL모형에 의해 수단선택 확률을 추정해 광역철도로의 전환율(전환수요)을 평가한다.

3) 요금 : 2,000원~5,000원, 시간: 40분~60분정도

<표 8> 광역철도로의 전환을 집계결과

요금		2000원까지	3000원까지	4000원까지	5000원까지	5000원이상	이용안함	합계
승용차 이용	빈도수	36	91	59	64	3	13	266
	비율	13.5%	34.2%	22.2%	24.1%	1.1%	4.9%	100.0%
	누적분포	1.000	0.865	0.523	0.301	0.060	0.049	
버스 이용	빈도수	87	189	196	33	12	5	522
	비율	36.2%	37.5%	6.3%	2.3%	1.0%	16.7%	100.0%
	누적분포	1.000	0.833	0.471	0.096	0.033	0.010	
소요시간		40분까지	45분까지	50분까지	60분까지	60분이상	이용안함	합계
승용차 이용	빈도수	70	57	75	43	5	14	264
	비율	21.6%	28.4%	16.3%	1.9%	5.3%	26.5%	100.0%
	누적분포	1.000	0.735	0.519	0.235	0.072	0.053	
버스 이용	빈도수	129	99	155	121	12	6	522
	비율	19.0%	29.7%	23.2%	2.3%	1.1%	24.7%	100.0%
	누적분포	1.000	0.753	0.563	0.266	0.034	0.011	

먼저 TP조사 자료를 이용하여 광역철도 요금과 시간 변화에 따른 수단별 전환수요를 예측하기 위한 TP모델의 효용함수식은 다음과 같이 표현된다.

· TP_모형1 : 승용차 VS 광역철도 (4)

$$\text{요금} : V = 6.337 - 0.1323(9000^{**} - MRT_cost^*) - 0.1439(40 - 50)$$

$$\text{시간} : V = 6.337 - 0.1323(9000 - 3000) - 0.1439(40^{**} - MRT_time^*)$$

· TP_모형2 : 버스 VS 광역철도 (5)

$$\text{요금} : V = 2.306 - 0.2515(3100^{**} - MRT_cost^*) - 0.1483(65 - 50)$$

$$\text{시간} : V = 2.306 - 0.2515(3100 - 3000) - 0.1483(65^{**} - MRT_time^*)$$

여기서,

* MRT_cost 과 MRT_time는 광역철도의 요금과 총통행시간을 나타냄

** TP조사시 설정된 식(3) 승용차 요금 9,000원, 시간 40분, 식(4) 버스 요금 3,100원, 시간 65분을 나타냄

3. 모형추정 결과

TP자료에 근거하여 광역철도 전환모형을 추정한 결과는 <표 9>와 같다. ρ^2 값이 각각 0.29, 0.39로서 적합도가 아주 높으며, VOT는 모형1(승용차) 6,526원/시, 모형

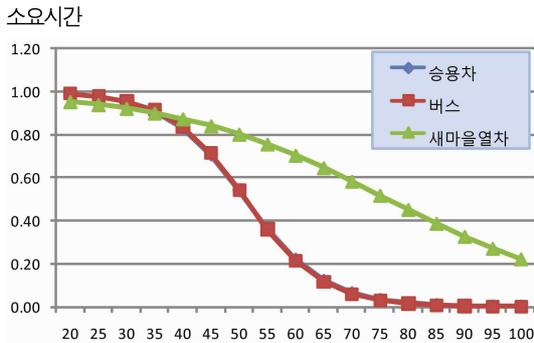
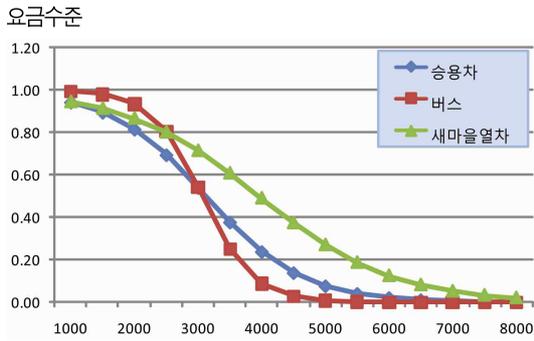
2(버스) 3,537원/시으로 높은 설명력을 보여주고 있다. 단 모형의 설명변수 t통계량이 일부가 95%으로 신뢰수준에서 기각되는 향이 존재한다. 본 모형은 각 수단으로부터 새로운 교통수단으로 전환하는 경향을 평가하는 데 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

승용차 더미와 버스 더미가 양의 값으로 나타나, 승용차와 버스 수단 이용자는 현재 이용하고 있는 수단에 대해 선호지각의식이 형성되어 있고, 광역철도의 통행시간과 운임 수준에 따라 전환행동이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

<그림 5>는 SP와 TP모형을 이용하여 실제 광역철도의 요금과 소요시간 변화에 따라 각 교통수단에서 광역철도로의 전환율(BL모형의 광역철도 부담율)을 제시한 것이다. 광역철도 요금에 따른 전환수요 발생수준은 버스 4,000원 이하, 승용차 5,000원 이하, 급행철도 6,000원 이하로 나타났다. 이것은 광역철도 이용자가 요금수준

<표 9> TP자료를 이용한 BL모형의 추정결과

구분	TP_모형1 (승용차)	TP_모형2 (버스)
통행시간(분)	-0.1439 (-9.719)	-0.1483 (-0.1456)
통행비용(원)	-0.001323 (-0.1154)	-0.002515 (-0.1549)
승용차 더미	6.337 (9.137)	-
버스 더미	-	2.306 (0.1383)
L(0)	-697.306	-1429.96
L($\hat{\theta}$)	-697.306	-1429.96
ρ^2	0.291983	0.391239
샘플수	1,006	2,063



<그림 5> SP-TP모형에 의한 광역철도 전환율 분석

에 대한 민감도가 낮다는 것을 의미한다.

한편, 광역철도의 소요시간에 따른 전환수요 발생수준은 승용차와 버스가 70분 이하에서, 일반철도(급행철도)는 120분 이하로 나타났다. 이것은 승용차와 버스는 속도서비스에 따라 민감하나, 일반철도의 경우 소요시간에 상관없이 광역철도로 전환하는 수요가 존재한다는 점을 시사한다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 대구권 사례연구를 대상으로 새로운 광역철도 서비스에 따른 전환수요모형을 구축하고 평가하였다. 연구의 시사점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 대구권 통행자의 교통수단에 대한 선호지각의식은 승용차, 철도, 버스 순이며, 새로운 광역철도 서비스가 도입될 경우 철도에 대한 선호지각 수준이 높아져 중·장거리 승용차 통행자는 철도로 수단전환 가능성이 있음이 확인되었다. 이것은 철도운영 서비스의 다양화 정책이 철도이용 활성화에 긍정적인 효과로 작용할 수 있는 점을 시사한다. 둘째, 급행열차의 선호지각의식이 완행열차보다 높지만, 열차선택행동은 저렴한 요금과 운행빈도를 고

려하여 완행철도를 선호하고 있었다. 이에 근거하면 광역철도는 기존철도와 명확하게 차별성 있는 철도수단이라고 말할 수 있다. 이 결과는 광역철도의 이용수요층이 별도로 존재한다는 것을 의미한다. 셋째, SP의 보완적 자료로써 TP조사를 통하여 새롭게 도입할 광역철도의 요금과 서비스(소요시간) 정책 평가가 가능한 전환수요모형을 제안하였고, 이에 관한 적용성 평가 결과, 전환수요 경계치를 쉽게 파악할 수 있었다. 그리고 향후 대구권 광역철도의 운행패턴(완행+급행철도)이 확정되면 보다 실용적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점 및 향후과제는 다음과 같다. 첫째, 사례연구 표본구성 중 철도이용자 자료 비율이 높아 SP모형 및 RP+SP결합모형 추정결과 철도분담율이 다소 높게 추정되었고, 실제 시간가치에 대하여 민감하지 않은 점이 나타났다. 따라서 시간가치는 수도권 지역 등과 비교할 때 다소 민감하지 않기 때문에 사례연구에서 구축한 모형의 타 지역 이전성(Transferability)에는 한계가 존재한다. 둘째, SP자료를 이용한 ML 수단선택모형의 분석에서 서비스 수준을 일률적으로 2수준으로 설정하여 피설문자의 회답오차는 줄일 수 있었지만 SP모형의 적합도 지표인 우도비(ρ^2)가 다소 낮게 나타났으므로 이 점을 보완하기 위해 TP조사 시 동일 개인에게 1대비교법(예를 들면, 광역철도와 승용차, 광역철도와 버스)에 의한 별도 SP조사를 수행하여 각 수단별 전환율을 TP모형과 비교하는 등 모형 적합도 향상에 관한 연구가 필요하다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009.

2. 21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 김강수·조혜진(2006), “SP 조사설계 및 분석방법론”, 보성각.
2. 김강수·조혜진(2004), “SP 순위 자료별 오차를 고려하는 순위로짓 모형 추정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.197~206.
3. 이상용·이선혜(2000), “선호도조사를 이용한 교통수요전환율 산정연구”, 교통개발연구원 연구총서 2000-14.
4. 윤대식·육태숙·윤성순(2005), “경부고속철도 2단

- 계 개통후 대구시민의 지역간 통행수단선택형태와 전환수요예측에 관한 연구”, 대한국토도시계획학회논문집, 제40권 제5호, 대한국토도시계획학회, pp.113~127.
5. 정병두(2002), “선호의식 및 전환가격데이터를 이용한 경전철의 전환수요비교 연구”, 대한토목학회논문집, 제22권 제3-D호, 대한토목학회, pp.433~441.
 6. 한국교통연구원(2008a), 대구권광역철도 기본조사 (중간보고서), pp.170~189.
 7. 한국교통연구원(2008b), 광역권 여객 기종점 통행량 전수화
 8. 日本交通政策研究會(1988), “新交通システム導入が沿線住民の交通および活動に及ぼす影響の評価”, 日交研シリーズA-122.
 9. 森川高行, 山田菊子(1993), “系列相關を持つRPデータとSPデータを同時に用いた離散選擇モデルの推定法”, 土木學會論文集, No.476, pp.11~18.
 10. 藤原章正(1993), “交通機關選擇モデル構築における選好意識データの信頼性に關する研究”, 廣島大學博士論文.
 11. Bonsall, P.(1983), “Transfer Price Data - Its use and Abuse”, The 11th PTRC, Transportation Planning Methods, pp.47~59.
 12. Bradley, M.A. and Daly A. J.(1994), Uses of The Logit Scaling Approach to Test for Rank-order and Fatigue Effects in Stated Preference Data, Transportation 21.
 13. Carlos J. Vidal et al.(2001), “A Global Supply Chain Model with Transfer Pricing and Transportation Cost Allocation”, EJOR 129, pp.134~158.
 14. Gunn, H.(1984), “An Analysis of Transfer Price Data”, The 12th PTRC, Transportation Planning Methods, pp.1~14.
 15. Jde D Ortuzar(2000), “Stated Preference Techniques”, PTRC.
 16. Morikawa, t.(1989), “Stated Preference Data in Travel Demand Analysis”, Ph.D Thesis, MIT.
 17. Steer Davies Gleave and Hague Consulting Group(1991), “Stated Preference Techniques”, A guides to practice 2nd Edition.
 18. Takayuki Morikawa(1989), “Incorporating Stated Preference Data in Travel Demand Analysis”, Ph.D Dissertation, MIT.
 19. Tony Richardson(2006), “Estimating individual values of time in stated preference surveys”, Road & Transport Research, Vol. 15, No.1, pp.44~53.

✉ 주 작 성 자 : 정병두

✉ 교 신 저 자 : 김 현

✉ 논문투고일 : 2009. 2. 21

✉ 논문심사일 : 2009. 4. 6 (1차)

2009. 5. 27 (2차)

✉ 심사관정일 : 2009. 5. 27

✉ 반론접수기한 : 2009. 10. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필